

## О ПРИРОДЕ ОКРАСКИ БЕРИЛЛА МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШЕРЛОВАЯ ГОРА

Михеева А.Д.<sup>1</sup>, Николаев А.Г.<sup>1</sup>, Юргенсон Г.А.<sup>2</sup>, Борзенко А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, [miheevaangelina@yandex.ru](mailto:miheevaangelina@yandex.ru)

<sup>2</sup>Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, [yurrgga@mail.ru](mailto:yurrgga@mail.ru)

Берилл считается основной рудой для получения химического элемента бериллия. Помимо этого, цветные разновидности данного минерала являются ценными ювелирными камнями. Целью предлагаемой работы являлось исследование методом оптической абсорбционной спектроскопии кристаллов берилла с месторождения Шерловая гора, изучение их кристаллохимических особенностей и природы окраски.

Шерловая Гора со второй четверти XVIII века известна в России и за ее пределами как уникальный природный заповедник ювелирных и коллекционных камней, образцами которых гордятся многие музеи мира. С 1930 года она вошла и в список крупных месторождений олова, свинца, цинка, индия и кадмия. Шерловогорская рудно-магматическая система в 1950-1970-е годы была объектом пристального внимания геологов-рудников, петрологов, геохимиков и минералогов. Другой достопримечательностью Шерловой Горы являются зоны современного минералообразования, обусловленного выносом временными водными потоками целого ряда компонентов из отвалов вскрышных и околорудных горных пород, складов бедных руд, из стенок карьера. Геологическая позиция месторождения описана в [Юргенсон, 2014].

Основной метод исследования в данной работе – оптическая абсорбционная спектроскопия. Оптические спектры поглощения записывались на специализированном спектрофотометре SHIMADZU UV-3600 в диапазоне длин волн 185–3300 нм. Дополнительно оптические спектры записывались на стандартизированном спектрофотометре МСФУ-К. Регистрация оптических спектров поглощения производилась в интервале длин волн 400–800 нм, с шагом 1 нм. Для объективного измерения и описания окраски берилла была использована методика расчета координат цветности по международной колориметрической системе XYZ. Все колориметрические результаты по интерпретации оптических спектров поглощения минералов были вынесены на стандартный цветовой треугольник международной комиссии по освещению (МКО-1931). Колориметрические параметры исследуемых минералов (x, y, z – коэффициенты цветности; λ – длина волны, p – густота, L – яркость основного цветового тона) рассчитывались с использованием специализированной программы «Спектр». Оптиче-

ские спектры поглощения записывались с обломков кристаллов и с плоскопараллельных препаратов; цвет образцов берилла – бледно-желтый, ярко-желтый, голубовато-зеленый, светло-зеленый, насыщенный голубой. Все экспериментальные исследования проводились при комнатной температуре.

Берилл представляет собой кольцевой силикат бериллия и алюминия  $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ , структура берилла состоит из колец  $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$ , соединенных через атомы Be и Al. Кольца образуют вытянутые вдоль оси шестого порядка колонки, связанные бериллиево-кислородными тетраэдрами и алюмокислородными октаэдрами [Корнилов, 1987].

Характерной особенностью структуры минерала является наличие достаточно ёмких полостей – каналов, которые объясняют возможность широкого проявления гетеровалентного изоморфизма с вхождением ионов-компенсаторов. Каналы достаточно большие, могут вмещать молекулы воды, крупные щелочные и щелочноземельные катионы. Для структуры берилла характерно частичное замещение атомов  $\text{Be}^{2+}$  на  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Изоморфизму подвержены и ионы  $\text{Al}^{3+}$  в октаэдрических позициях структуры, которые могут быть замещены трёх- и двухвалентными катионами:  $\text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Si}^{4+}$ . В качестве ионов – компенсаторов в каналы структуры при этом входят крупные катионы щелочных металлов ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cs}^+$ ), а также группы  $(\text{OH})^-$ , молекулы  $\text{H}_2\text{O}$ , ионы  $\text{F}^-$  и др. [Егоров-Тисменко, 2005]. В кристаллах берилла Шерловой Горы кроме железа, в качестве примесей установлены V, Cr, Sc, Zr, влияние которых на особенности их окраски еще предстоит выяснить.

Общей особенностью оптических спектров поглощения кристаллов берилла с Шерловой горы является наличие одной широкой интенсивной полосы в ближней инфракрасной области с максимумом в 810 нм, обусловленной разрешенным по спине электронным переходом  ${}^5\text{T}_2({}^3\text{D}) \rightarrow {}^5\text{E}({}^3\text{D})$  в ионах двухвалентного железа, изоморфно замещающих алюминий в октаэдрических позициях структуры (рис. 1) [Бахтин, 1985]. В ультрафиолетовой области присутствует полоса поглощения, длинноволновое плечо которой можно наблюдать в видимой области спектра, и она связана с механизмом переноса заряда  $\text{O}^{2-} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ . Узкие полосы поглощения на длине волны

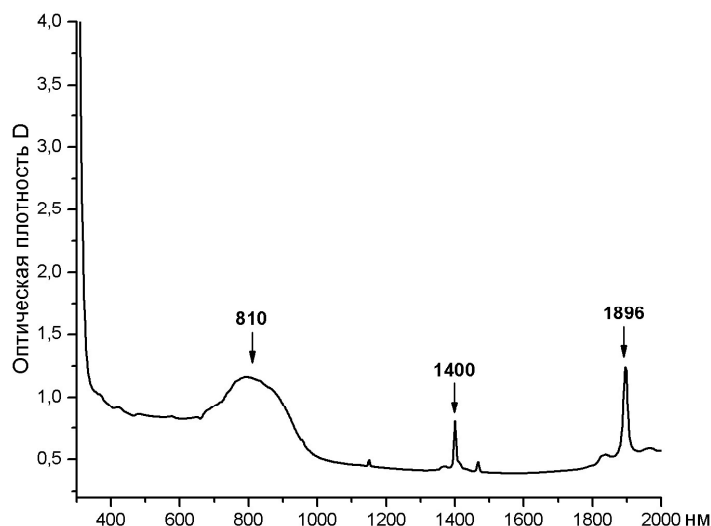


Рис. 1. Оптический спектр поглощения берилла с Шерловой горы

1400 и 1896 нм связаны с колебаниями молекул воды в каналах структуры берилла, а именно линия 1896 нм отвечает колебаниям первого обертона, а линия 1400 – второго обертона молекулы  $H_2O$ . По конфигурации узкой полосы поглощения в районе 1896 нм можно говорить, что в бериллах присутствует молекулярная вода I и II типа [Nassau, 1976; Wood, 1968].

Интерпретация оптических спектров поглощения кристаллов берилла с месторождения Шерловая гора показали следующие результаты. Интенсивность полос поглощения, связанных с ионами  $Fe^{2+}$  на длине волны 810 нм у всех кристаллов практически одинаковая, нет прямой зависимости от высоты пика и цвета берилла. При усилении полосы поглощения  $O^{2-} \rightarrow Fe^{3+}$  происходит лишь усиление зеленых оттенков и переход от зеленых бериллов к желтым гелиодорам. Эта зависимость окраски кристаллов берилла от доли трехвалентного железа показана на рис. 2 [Yurgenson et al., 2010].

По результатам интерпретации оптических спектров поглощения кристаллов берилла был проведен расчет координат цветности по международной колориметрической системе МКО-1931. Доминирующая длина волны основного цветового тона составила  $\lambda = 495.2\text{--}573.4$  нм, а величина насыщенности основного цветового тона изменялась в пределах 2.05–33.17 %. Данные параметры хорошо коррелируются с цветовыми характеристиками кристаллов берилла с месторождения Шерловая гора.

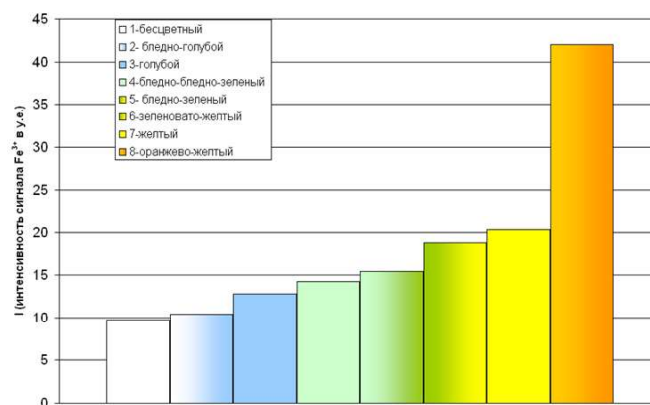


Рис. 2. Возрастание содержания трехвалентного железа в октаэдрической позиции кристаллов берилла различной окраски (По вертикальной оси дана интенсивность позиций трехвалентного железа на ЭПР-спектрах. По [Yurgenson et al., 2010])

## ЛИТЕРАТУРА

- Бахтин А.И. Породообразующие силикаты: оптические спектры, кристаллохимия закономерности окраски, типоморфизм. Казань: Изд. Казанского ун-та, 1985. 192 с.
- Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия. М: Изд-во «Книжный дом Университет», 2005. 592 с.
- Корнилов Н.И., Солодова Ю.П. Ювелирные камни. М.: Недра, 1987. 239 с.
- Юргенсон Г.А., Кононов О.В. Шерловая Гора: месторождение самоцветов и редких металлов // Минералогический альманах, Т. 19, 2014. С. 12-93.
- Nassau K. Synthetic emerald: The confusing history and the current technologies // Journal of Crystal Growth, 1976, V. 35, №. 2. P. 211-222.
- Wood D.L., Nassau K. The characterization of beryl and emerald by visible and infrared absorption spectroscopy // American Mineralogist, 1968. V. 53, No. 5-6. P. 777-800.
- Yurgenson G.A., Afanasieva A.S., Kononov O.V., Prokofiev V.Yu. Typomorphic peculiarities of noble beryl varieties from Sherlovaya Mountain // Geology and Resources. 2010, Vol.19, N1. Aug. P. 28-30.